

9346

II

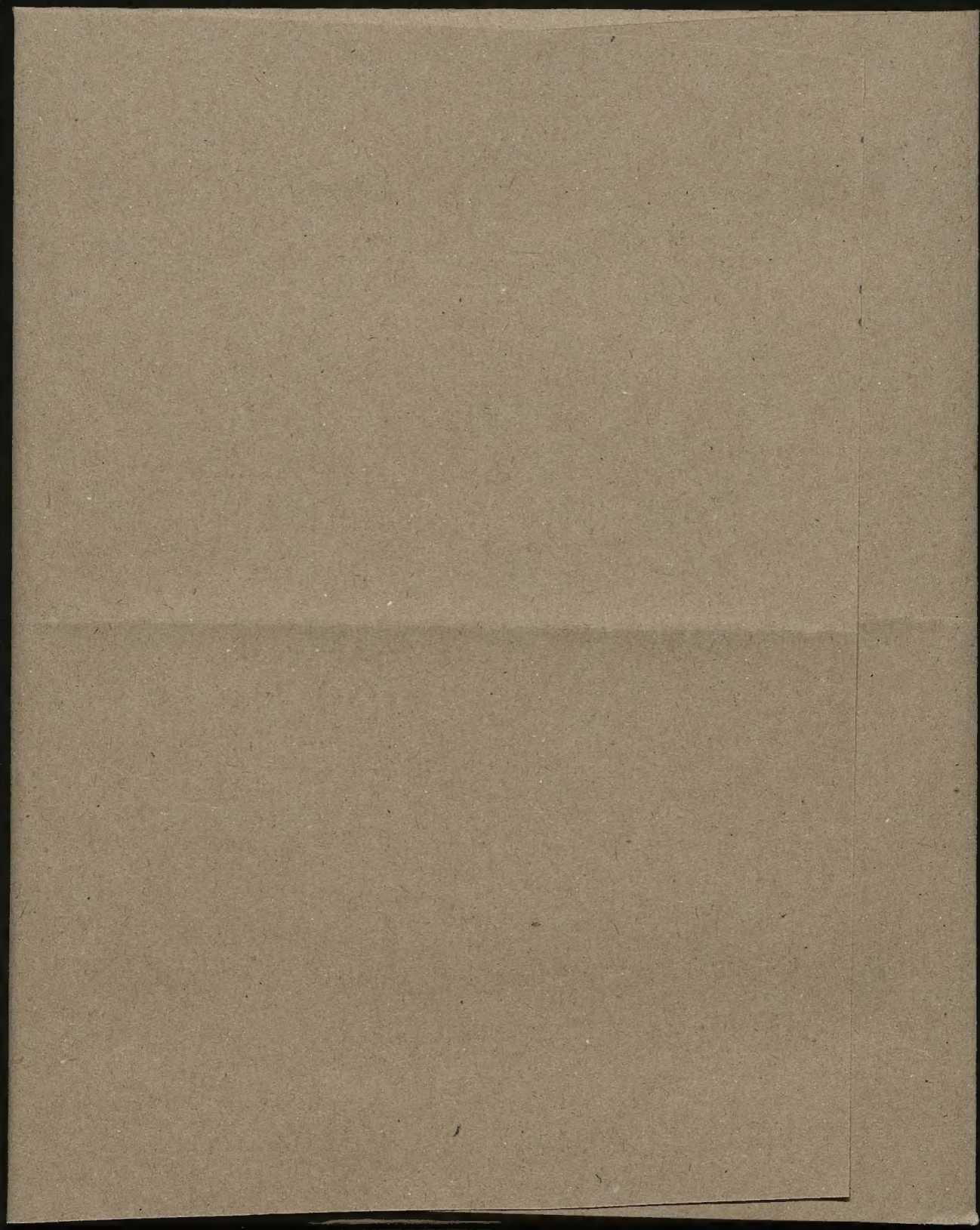
Bibl. Jag.













IV 6

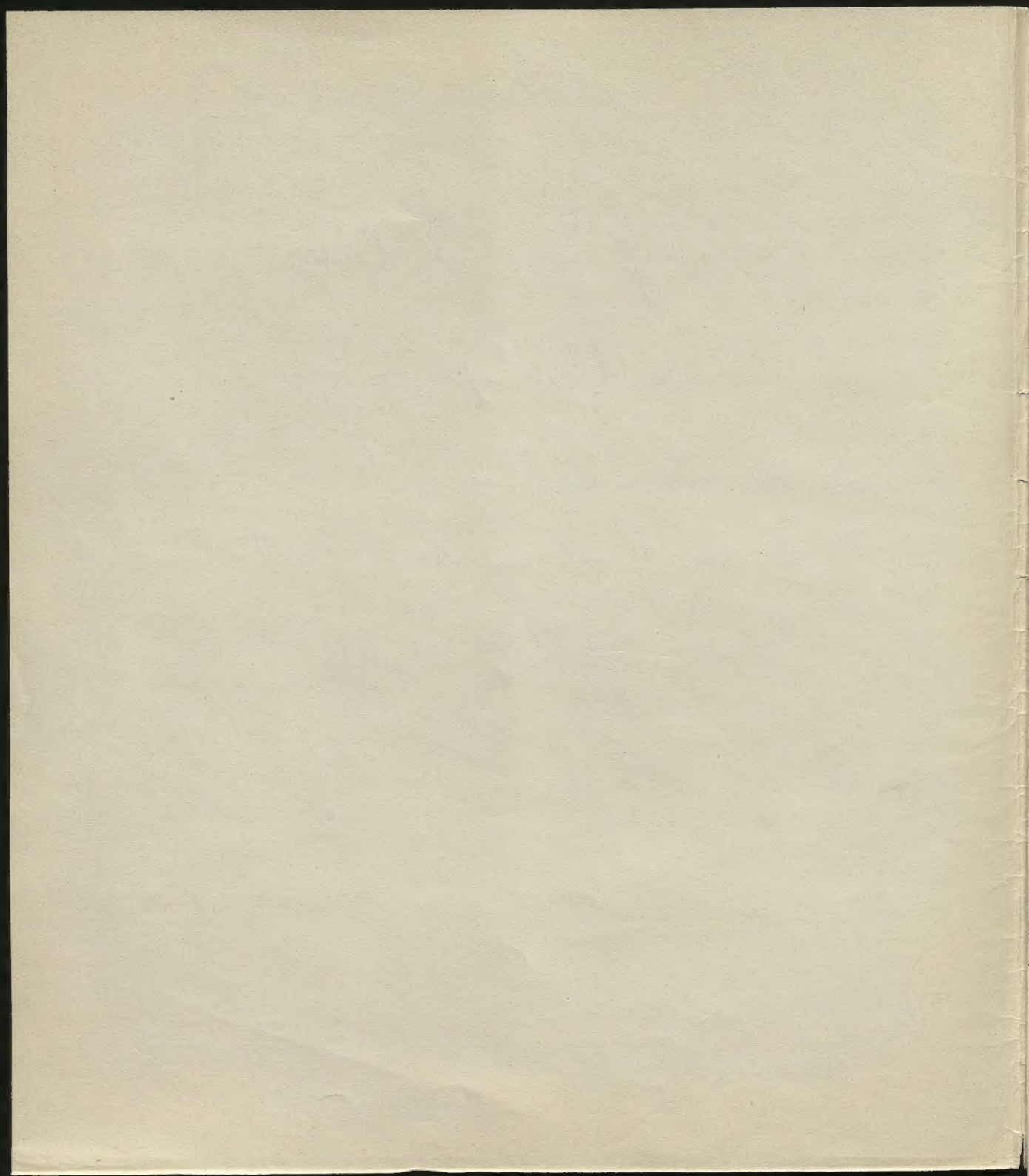
Vortrag in d. Chem.-Physik.

Gesellschaft in Wien

Über die Wärmerückführung in Gasen mit  
Rücksicht auf die kinet. Gastheorie

31/1 1899







Vortrag im Chem.-Physik. Gesellsch. 31. 1899 <sup>2</sup>

Über die Wärmeleitung in Gasen <sup>von Standpunkt der</sup> mit Rücksicht auf die kinetische Gastheorie.  
<sup>in Gasen</sup>

Die Erscheinungen der Wärmeleitung (über welche ich heute sprechen will, bieten fast ausschließlich ein theoretisches Interesse; ~~abgesehen~~ in dieser Richtung sind sie aber von ganz hervorragender Wichtigkeit, insbesondere für die kinetische Gastheorie. Diese hat überhaupt die Anregung gegeben zu den diesbezüglichen Untersuchungen. Es ist bekannt dass Maxwell 1860 die ~~Erstmal~~ <sup>absolute</sup> und GröÙe der Wärmeleitung auf theoretischem Wege berechnete, ~~und dass~~ <sup>lange</sup> bevor noch absolute Messungen auf diesem Gebiete gemacht worden waren. Erst 1872 gelang es Stefan, den absoluten Wärmeleitungskoeffizienten zu bestimmen und er zeigte sich in der That von demselben GröÙenordnung wie von Maxwell vorausgesagt worden war. Ebenso hatte Maxwell das merkwürdige Gesetz abgeleitet dass die Wärmeleitung, ebenso wie die innere Reibung vom Druck <sup>des Gases</sup> unabhängig sein müsse, welches thetätisch durch spätere Untersuchungen immer mehr bestätigt wurde. Somit war also die Theorie Führung gewesen; heuteutage ist die Sache wohl umgekehrt geworden, die Theorie hat in dem Gebiete wenig Fortschritte gemacht, da man zu ~~sofort~~ <sup>genaueren</sup> Berechnungen unbedingt die Kenntnis der Diskontinuität der Potentiale, insbesondere der zwischen ihnen wirkenden Kräfte bedarf; dagegen ist die experimentelle Forschung erheblich ausgebildet







worden und man muss nun strecken <sup>mit Hilfe der</sup> ~~unmöglich~~ experimentellen <sup>3</sup> ~~Set~~ <sup>2</sup>  
die Theorie ausbilden. Die Wärmeleitung ist, wie die innere Reibung und  
Diffusion, dazu besonders geeignet, denn sie ~~ist~~ steht in unmittelbarem  
Zusammenhang mit der Größe und Wirkungsweise der Moleküle.  
Es gibt ja Erscheinungen wie z.B. die ~~Abhängigkeit~~ Abhängigkeit vom Druck  
Kal. und Exp., welche in erster Annäherung von der Dichte der Moleküle  
abhängig sind. Das ~~David~~ Boyle-Charles'sche Gesetz gilt  
unabhängig davon, erst die Correctionsglieder, welche an dasselben angehängt  
werden müssen, also das a und b in der Van der Waals'schen Gleichung  
sind von der Größe und den Kräften der Moleküle abhängig.

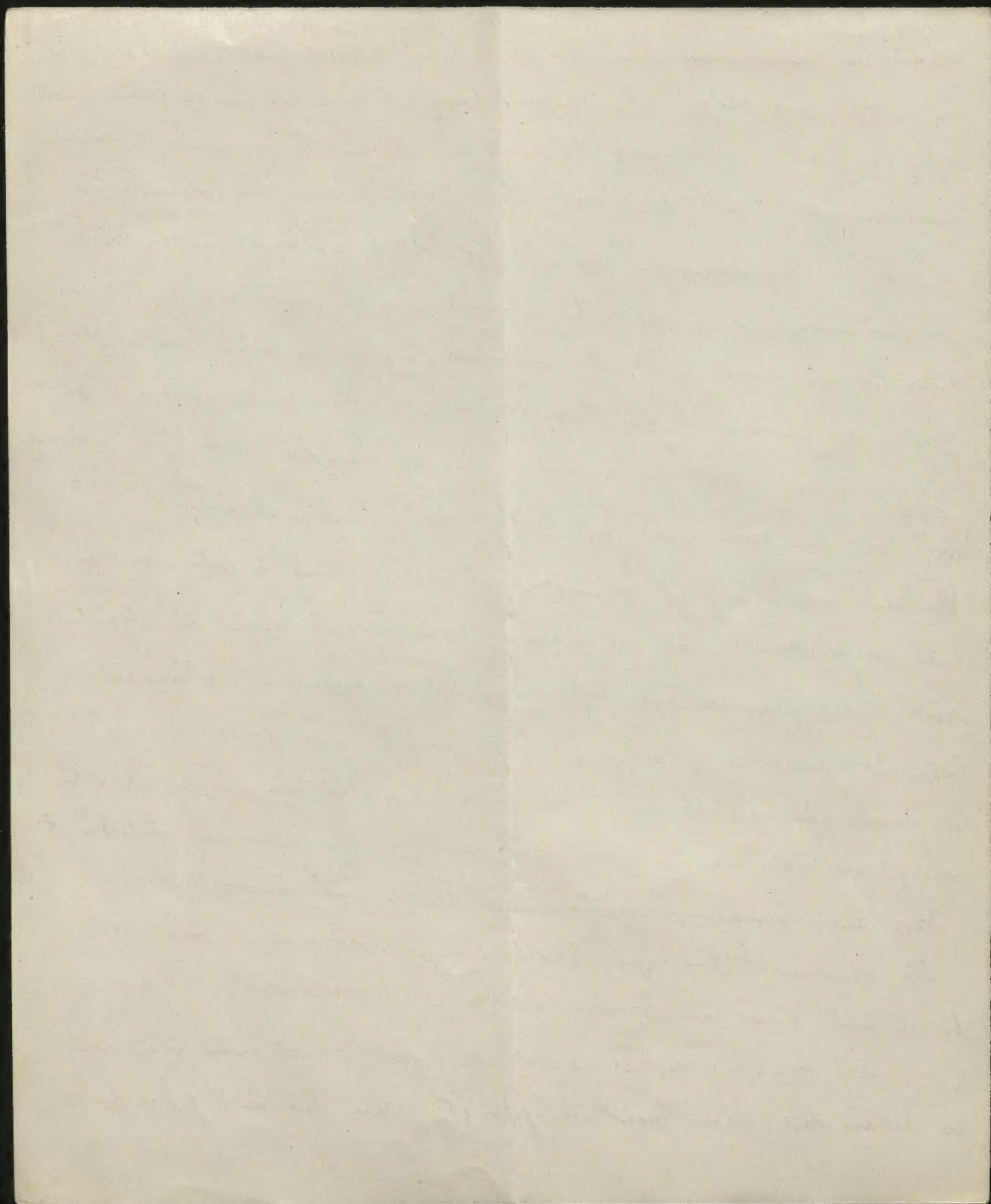
~~Die~~ Die Wärmeleitung ~~ist~~ ~~degen~~ hängt direkt, gleich in erster Annäherung  
mit der Wirkungsweise der Moleküle zusammen. Sowohl die absolute  
Größe  $K$  der Wärmeleitungs Coefficienten, wie insbesondere der Temperatur  
Coefficient derselben des  $\gamma$  in der Formel  $K = K_0 (1 + \gamma \theta)$   
ist davon abhängig ob die Moleküle sich wie elastische Kugeln verhalten  
oder ob sie sich nach irgend einer Function der Entfernung abstoßen etc.

~~Die zwei Größen  $K$  und  $\gamma$  sind bisher fest ausgedrückt~~

Die experimentellen und theoretischen Untersuchungen haben sich  
bisher auf diese zwei Größen  $K$  und  $\gamma$  beschränkt.

Besüglich der Größe des Temperatur coefficienten  $\gamma$  ist man nun noch  
zu keinem definitiven Resultate gelangt; die für Luft gefundenen







Werte schwanken zwischen  $0.0018$  und  $0.0028$

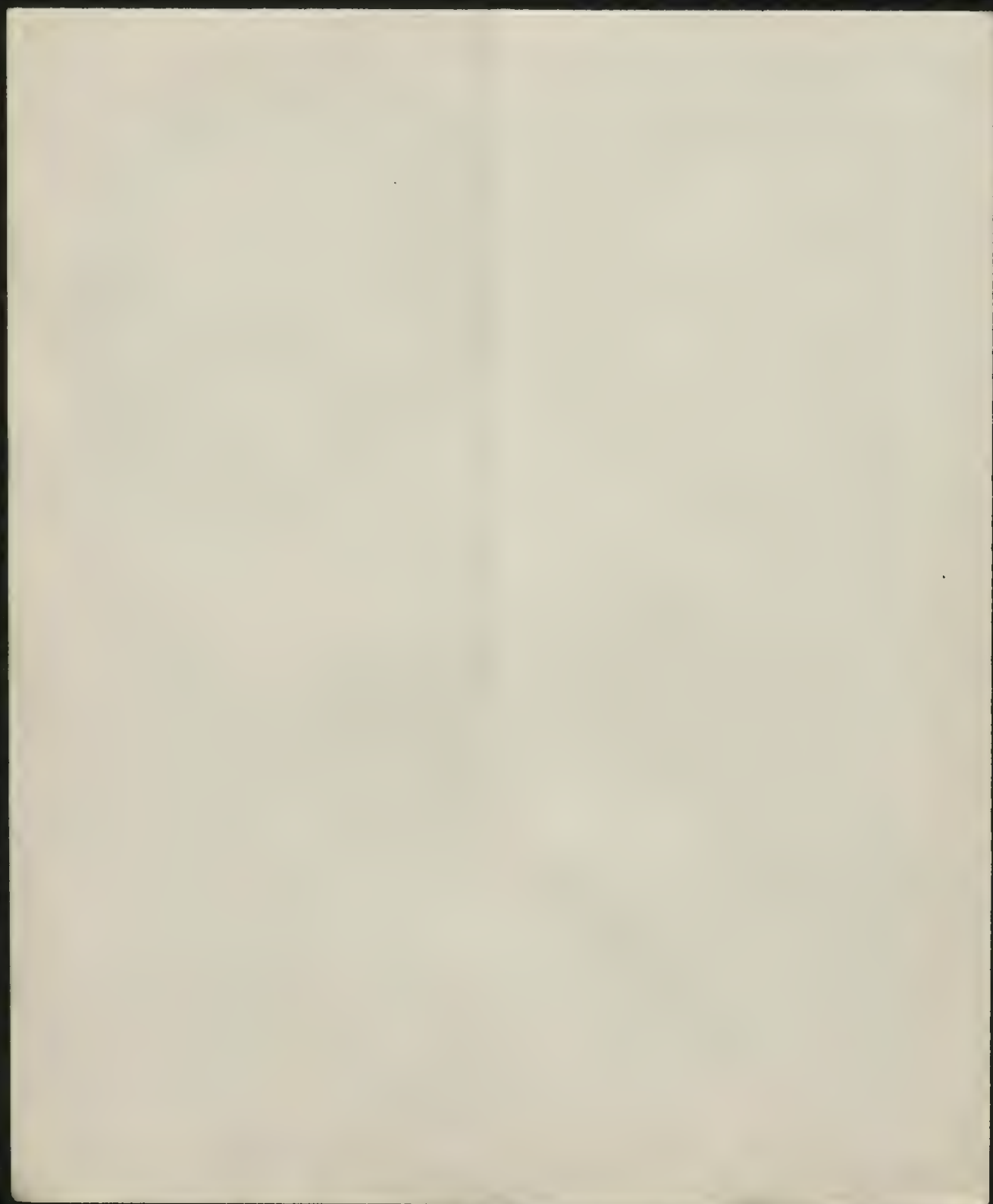
während nach der Theorie der elastischen Kugeln  $0.0018$ , dagegen nach Maxwell's Theorie der reciproken fünften Potenzen  $0.0036$  folgen würde.

Die <sup>Strukt</sup> Frage nach der absoluten Größe von  $\kappa$  ist dagegen zu einem gewissen Abschlusse gelangt, indem der Winkelmann'sche Wert  $\kappa_0 = 0.000057$  als richtig anzunehmen ist. Die Maxwell'sche Theorie würde hingegen einen erheblich größeren Werth  $\kappa \approx 0.000080$  liefern, sie stimmt also mit der Erfahrung nicht überein, für andere Wirkungsgrößen, wie z.B. das der elastischen Kugeln ist aber eine vollständig strenge, genaue Beziehung noch nicht durchgeführt.

Ich habe mich nun in den letzten Jahren mit einem neuen Gebiete der Wärmeleitung beschäftigt, nämlich mit den Erscheinungen, welche bei größerer Verdünnung des Gases auftreten, und habe auch hier wieder eine qualitative Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment gefunden, welche einen frappanten Beweis für die Richtigkeit der allgemeinen Principien der Gastheorie bildet.

Eine genauere quantitative Untersuchung <sup>des Phänomene</sup> (in theoretischer und experimenteller Hinsicht) dürfte auch hier schließlich zu Aufschlüssen über die ~~die~~ spezielle Wirkungsweise der Moleküle und insbesondere auch über die Beschaffenheit der oberflächennächsten der festen Körper ~~führen~~ führen und insbesondere in letzterer Beziehung schienen







4  
mir die Phänomene noch eingehender Betrachtung zu verdanken.

Denn ich jedoch auf diese speziellen <sup>Fragen</sup> ~~Frage~~ übergehe, möchte ich  
des Zusammenhanges wegen noch einige allgemeinere Betrachtungen  
über die experimentelle Untersuchung <sup>der Wärmeleitung</sup> vorausschicken.

---

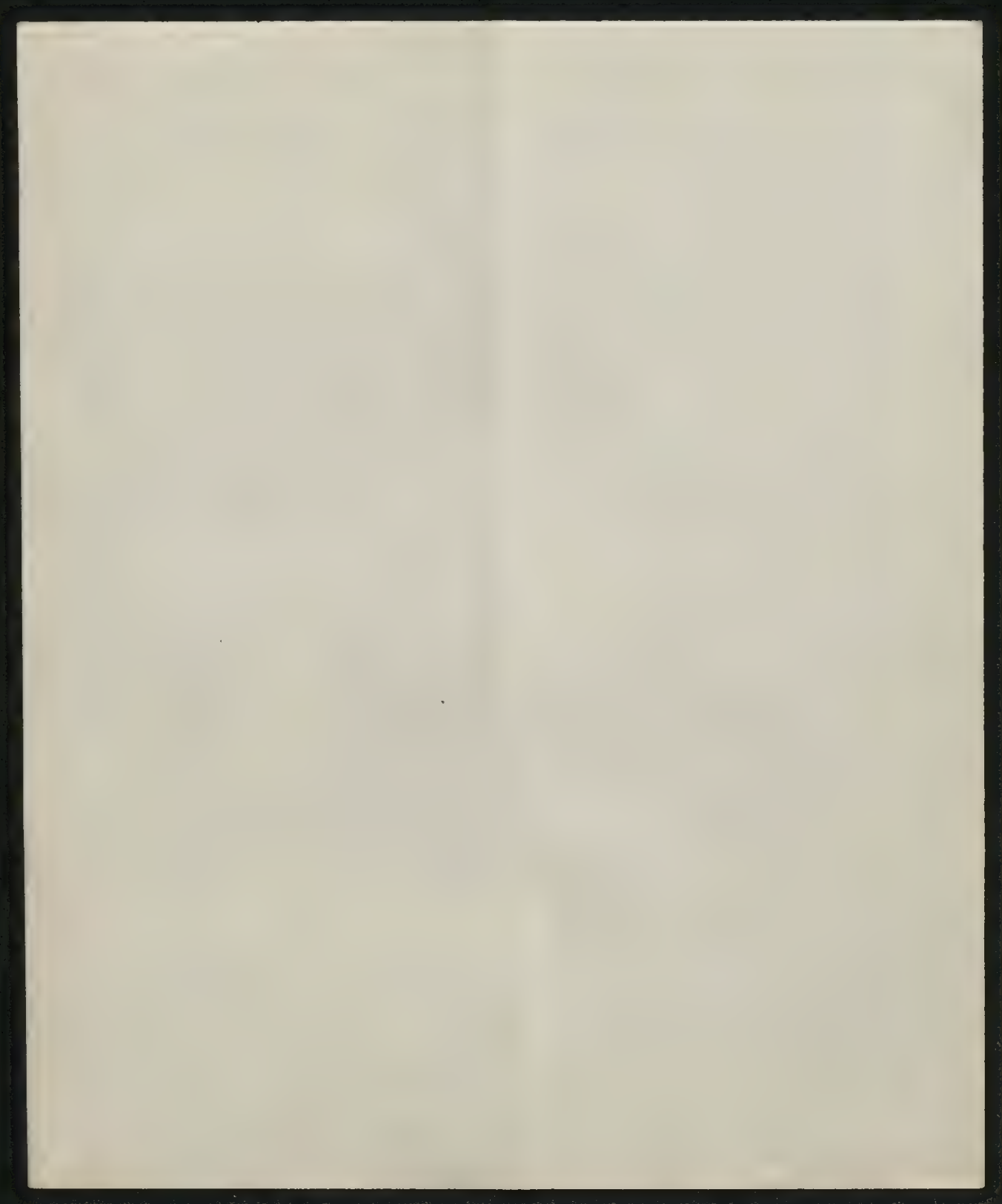
Die eigentliche Wärmeleitung in Gasen — analog wie in festen Körpern —  
ist nämlich nur ein idealer Fall, ~~woher~~ da die theoretischen  
Verhältnisse immer durch die Strahlung und die Convectionsströ-  
mungen complicirt werden.

In der freien Atmosphäre, überhaupt in ~~flüssigen~~ <sup>gasförmigen</sup> Körpern, findet  
die Wärmeübertragung fast ausschließlich durch directe Strahlung  
und durch Convectionsströme statt. Die eigentliche Wärmeleitung  
steht nämlich in <sup>dem</sup> ~~dem~~ <sup>inversen</sup> Verhältnisse zu <sup>den Dimensionen</sup> ~~dem~~ <sup>der</sup> Gasen, während  
die Strahlung <sup>überhaupt</sup> davon unabhängig ist, falls nicht etwa das Gas  
absorbierend wirkt; die Convectionsströme dagegen nehmen zu mit  
Zunahme der <sup>Gas</sup> ~~Gas~~ <sup>dimensions</sup> ~~dimensionen~~, da die innere Reibung der Gas-  
schichten der Ausbildung dieser Strömungen entgegenwirkt — dann  
eine geringere Wirkung hat.

Die normale Wärmeleitung kommt also erst bei Apparaten in  
Betracht, bei welchen die Gasschichte nur einige mm oder cm dick ist.

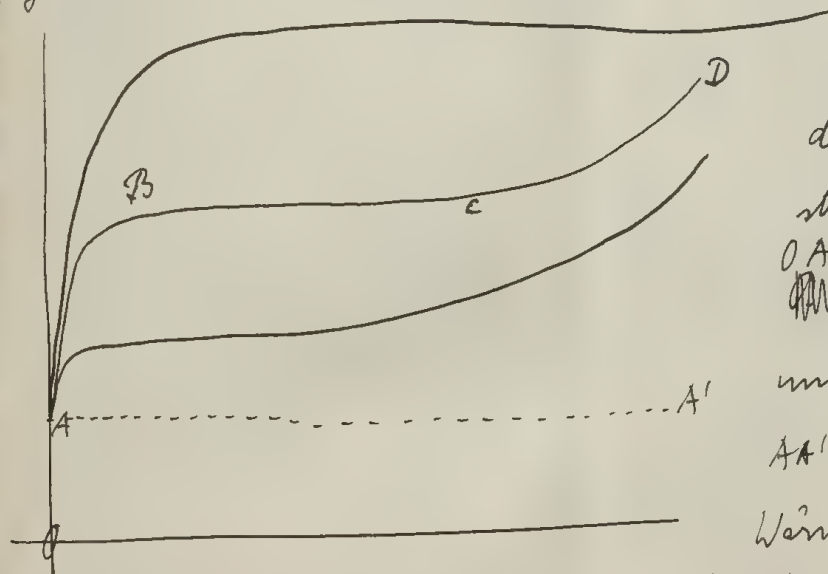
Den Einfluss der Convectionsströme ~~aber~~ kann man nun <sup>noch</sup> dadurch  
eliminiren, dass man das Gas verdünnt; denn der Auftrieb







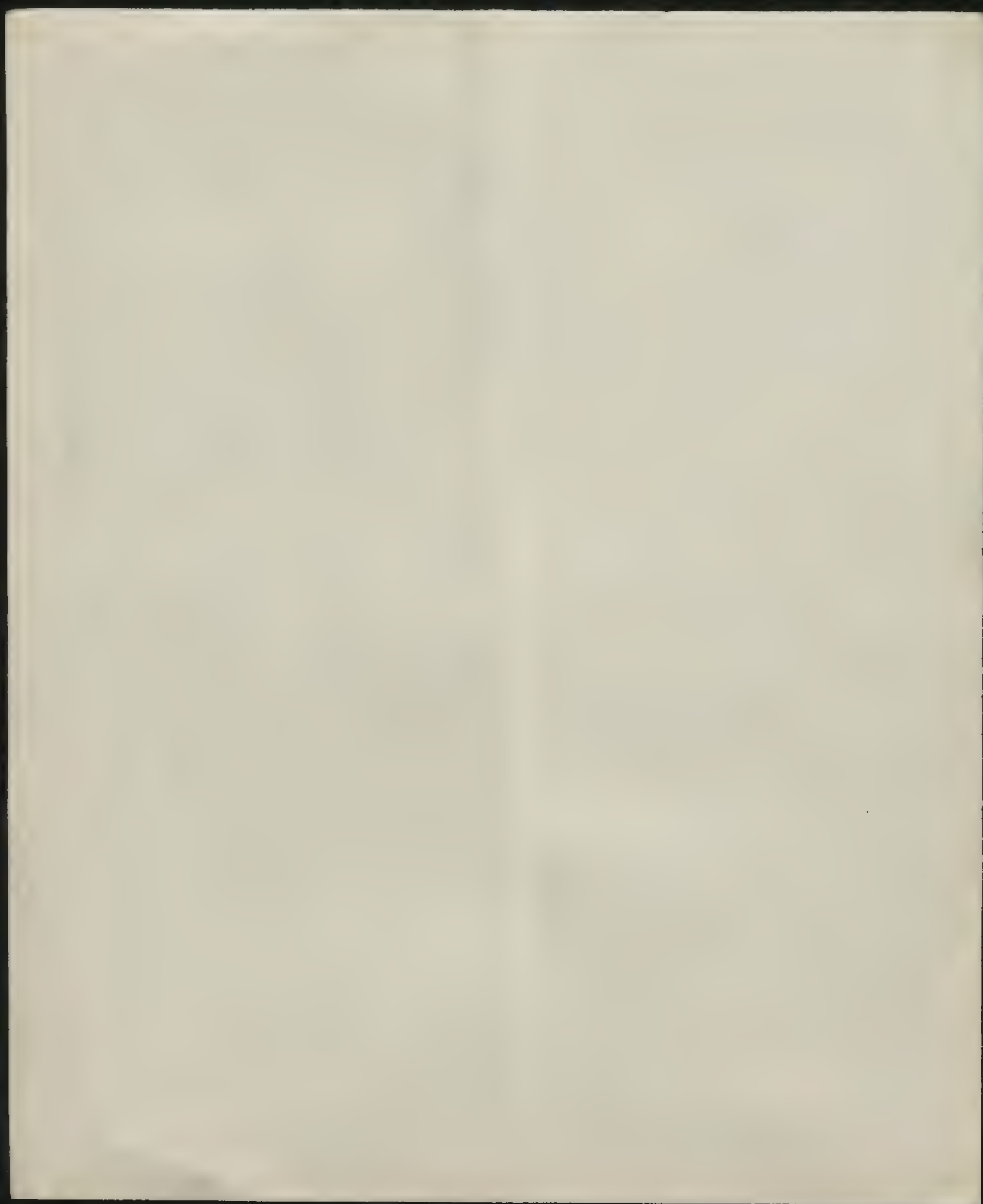
welcher die Strömungen verursacht nimmt proportional dem Drucke <sup>5</sup> ab, während die innere Reibung constant bleibt, mit der Wirkung einer gegebenen Strömung nimmt ebenfalls ~~mit~~ <sup>stärker</sup> mit der Dichtigkeit des Gases proportional ab. Die Wirkung der Convectionsströme nimmt also mit ~~wachsender~~ Abnahme des Druckes sehr rasch ab und kann von einem gewissen Grenzdrucke an <sup>welcher von Form und Höhe der Gefäßwände</sup> überhaupt vernachlässigt werden. Wenn man sich also die Quantität der von einer erwärmten Thermometerkugel an die Gefäßwände übergehenden Wärme als Function des Gasdruckes aufträgt, so erhält man Curven folgender Art.



Der Theil CP stellt die Wirkung der Convectionsströme vor, der Theil OA ~~das~~ <sup>die</sup> dagegen die Strahlung und die Differenz zwischen AA' und DC die <sup>in dem Theile</sup> eigentliche Wärmelastung welche ~~also~~

vom Drucke unabhängig ist. Nach der Gastheorie ist dies ja ohne weitere Rechnung ganz plausibel, da mit Verdünnung des Gases zwar die Anzahl der Moleküle abnimmt, in denselben Masse dagegen







die mittlere Weglänge der Gasmoleküle annimmt, und die Wärme<sup>†</sup> 6  
übertragung wird durch das Product aus diesen beiden Größen bestimmt,  
welches somit constant bleibt.

Nimmt man ein größeres Gefäß, so bleibt  $\alpha A$  unverändert, die  
Intensität der Leitung ist geringer, dagegen werden die Convections-  
ströme schon bei geringen Drucken merkbar und ihre Wirkung  
überhaupt größer. Ich wandte dazu einmal ein Gefäß an mit einer  
Zwischenraume von bloß 2 mm und dabei blieb die Leitung bis zu  
Atmosphärendruck fast vollständig constant. Ähnliche Resultate  
sind erhalten für Luft und Alkohol (zwischen 760 mm und 10 mm  
Unterschied  $< 0.2\%$ ).

Der Reibungs, von den Convectionsströmen hervorgerufen, ist bisher  
immer nur als Störung betrachtet worden und ist noch wenig  
untersucht. ~~es scheint mir zu sein, dass~~ Dagegen erstrecken  
sich fast alle Untersuchungen auf den horizontalen Reib. <sup>daran</sup> Um die  
Wärmeleitung zu isoliren, muss man die Strömung eliminiren. Das  
geschieht entweder, indem man die Luft vollständig auspumpt,  
oder indem man die mit Gefäßen von verschiedenen Dimensionen  
angestellten Versuche mit einander vergleicht. (Figuren)

Ich verlege mich nun auf die Untersuchung des zu C hinunter  
sich abwärts des Reibungs der Curven. Dass die Wärmeleitung der Gas  
bei großen Reibung <sup>abnimmt bis Null</sup> (Abnahme), was natürlich schon lange bemerkt

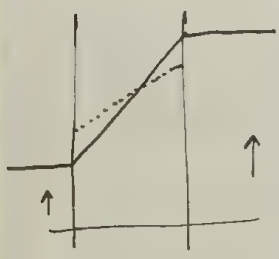






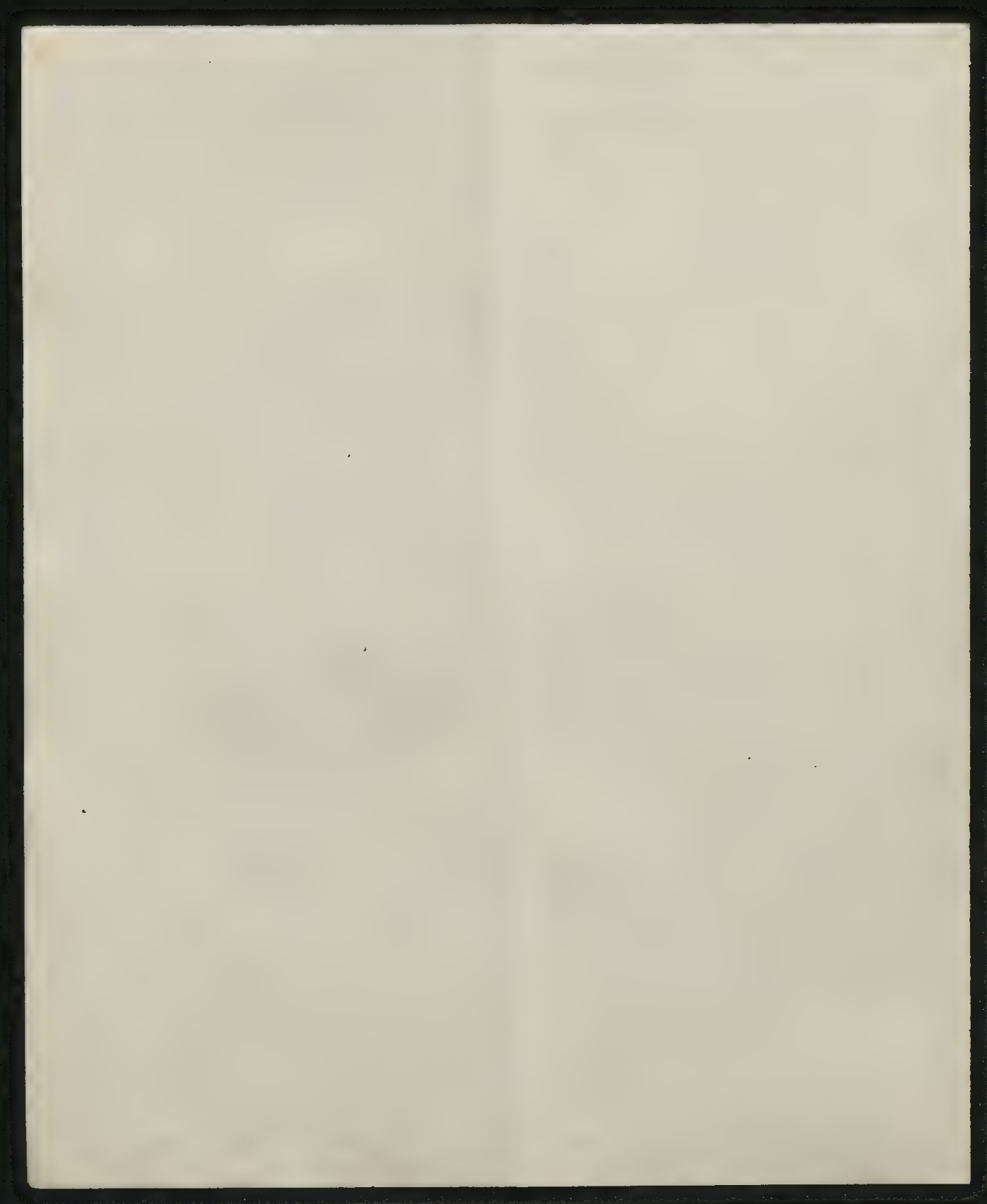
wurden, so z.B. von Crookes, von Kuntz & Werburg, ~~Mr~~ Gröte u.a.  
aber Niemand hatte ~~das Gesetz~~ dies näher untersucht oder ein Gesetz  
dafür aufgestellt, obwohl ja dies mit der früher erwähnten  
theoretischen Folgerung, dass  $\kappa$  vom Gasdruck unabhängig sein müsse,  
im Widerspruch zu stehen scheint.

~~Es geht~~ Auch hier sollte die Gastheorie ~~den~~ als Wegweiser bei der  
Untersuchung dienen. Eine analoge Erscheinung besteht nämlich bei der  
inneren Reibg.

Bewegen sich zwei verticale Platten mit verschiedener Seitenwindigkeit,  
 so ist das Seitenwindigkeits Gefälle des Gases zwischen  
ihnen ein lineares. Wird das Gas verdünnt, so  
bleibt die innere Reibg. denselben constant, bei  
größten Verdünnungen tritt aber ein Gleiten des Gases  
längs der Oberfläche auf, so dass dann die Seitenwindigkeits Linie die  
Zergerade annimmt. Analog könnte man nun hier annehmen, dass  
auch bei der Wärmeleitg. ein endlicher Temperatursprung an der Grenz-  
fläche zwischen Gas und festen Körper stattfindet, und thatsächlich  
ist auch die Vermuthung, dass etwas dergleichen bestehen könnte,  
auch einmal von Kuntz & Werburg geäußert worden.

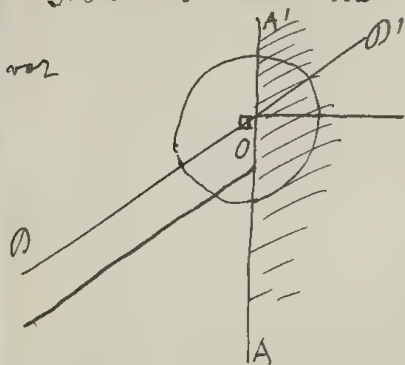
Es ist nun aus der Gastheorie leicht der Nachweis zu liefern, dass  
thatsächlich dieser Temperatursprung stattfinden muss.



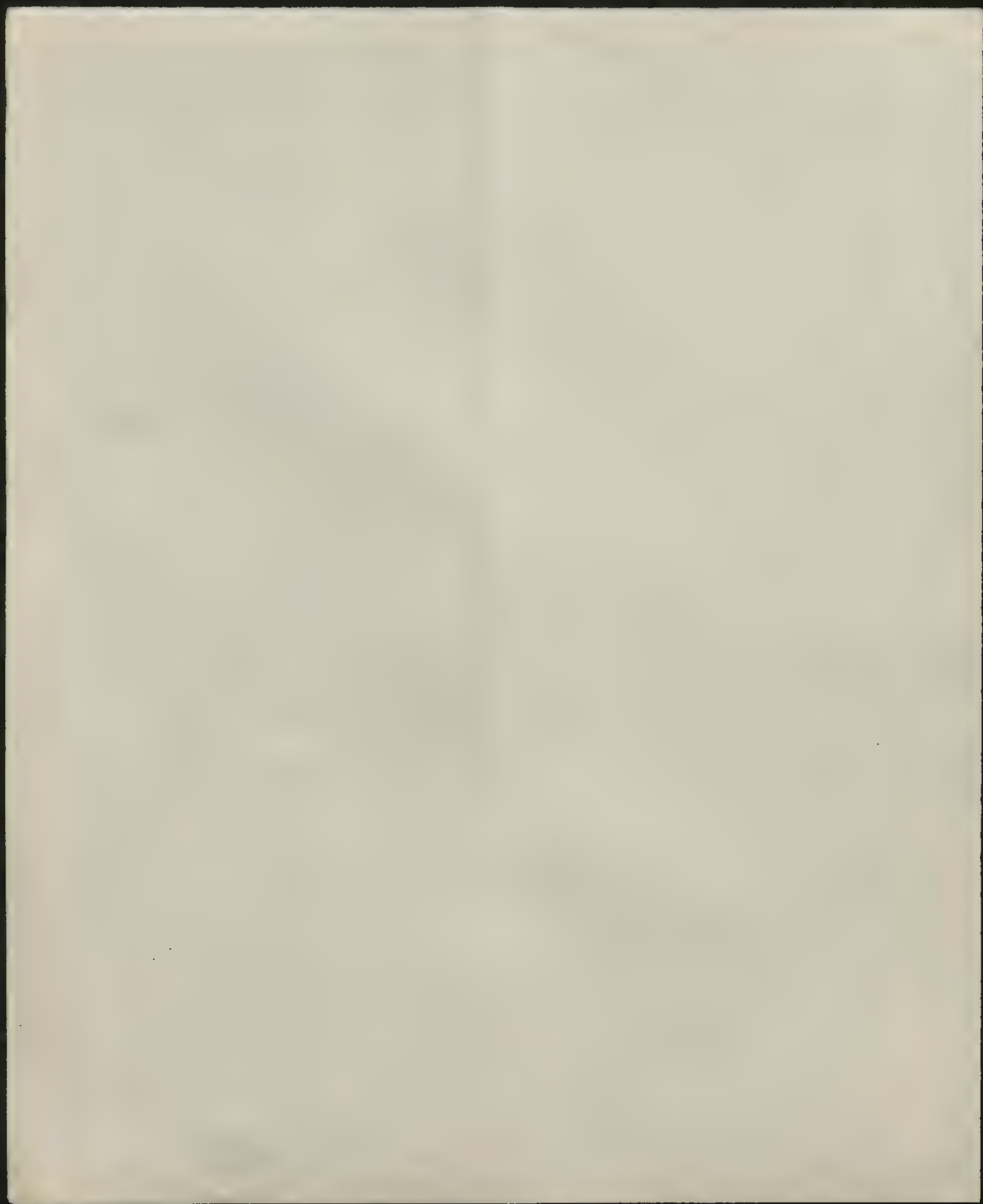




vor



Stellen wir uns nämlich ein lineares Temperaturgefälle in einem Gase  
dann ist die Temperatur in ein Volumen element  
an der Stelle. bestimmt als Mitteltemperatur  
der Rohre welche von links hineinfließen und  
derjenigen die von rechts hineinfließen. Die von  
links kommenden sind kälter, die von rechts kommenden sind wärmer,  
man schreibe wir aber plötzlich einen starren Körper 'in die AA', der  
eine Temperatur hat, die gerade den Schnittpunkte entsprechen würde  
Dann wird die Temp in O nicht unversändert, sondern wird sinken, denn  
von links kommen immer noch dieselben kälteren Rohre, von  
rechts kommen nur diejenigen die von der Wand AA' abgeprallt sind,  
und diese können höchstens die Wandtemperatur haben. Es wird also  
ein Überschuss von kälteren Rohren sein, die Temperatur der Gasschicht  
muss sinken bis wieder Gleichgewicht besteht. Vermindert wird die  
Temperaturspannung noch dadurch dass die an die Wand anprallenden  
Rohre im Allgemeinen nicht sofort <sup>beim ersten Auftreten</sup> ~~der Temperaturzunahme~~ und  
Neu nicht schon nach einer solchen beträchtlichen Umlage ein, dass die  
Größe des Temperaturgefalles der mittleren Weglänge d. i. dem Radius  
des Kreises, andererseits aber dem Temperaturgefälle  $\frac{\partial \vartheta}{\partial x}$  in der Nähe  
der Wand selbst proportional sein wird, also  $\Delta \vartheta = \text{---} - A \lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x}$





10 9

Ich habe <sup>in letzter Zeit</sup> eine genauere Berechnung auf Grundlage zweier Theorien, sowohl der Clausius'schen von den elastischen Kugeln, wie der Maxwell'schen von Molekülen, welche nach dem Gesetze  $\frac{1}{2} \epsilon$  wirken, durchgeführt, und bin in beiden Fällen auf Gesetze derselben Form gekommen; nur der Werth der Constante  $A$  ist etwas verschieden.

Im ersten Falle  $A = [0.70 + \frac{4\beta}{3(1-\beta)}]$

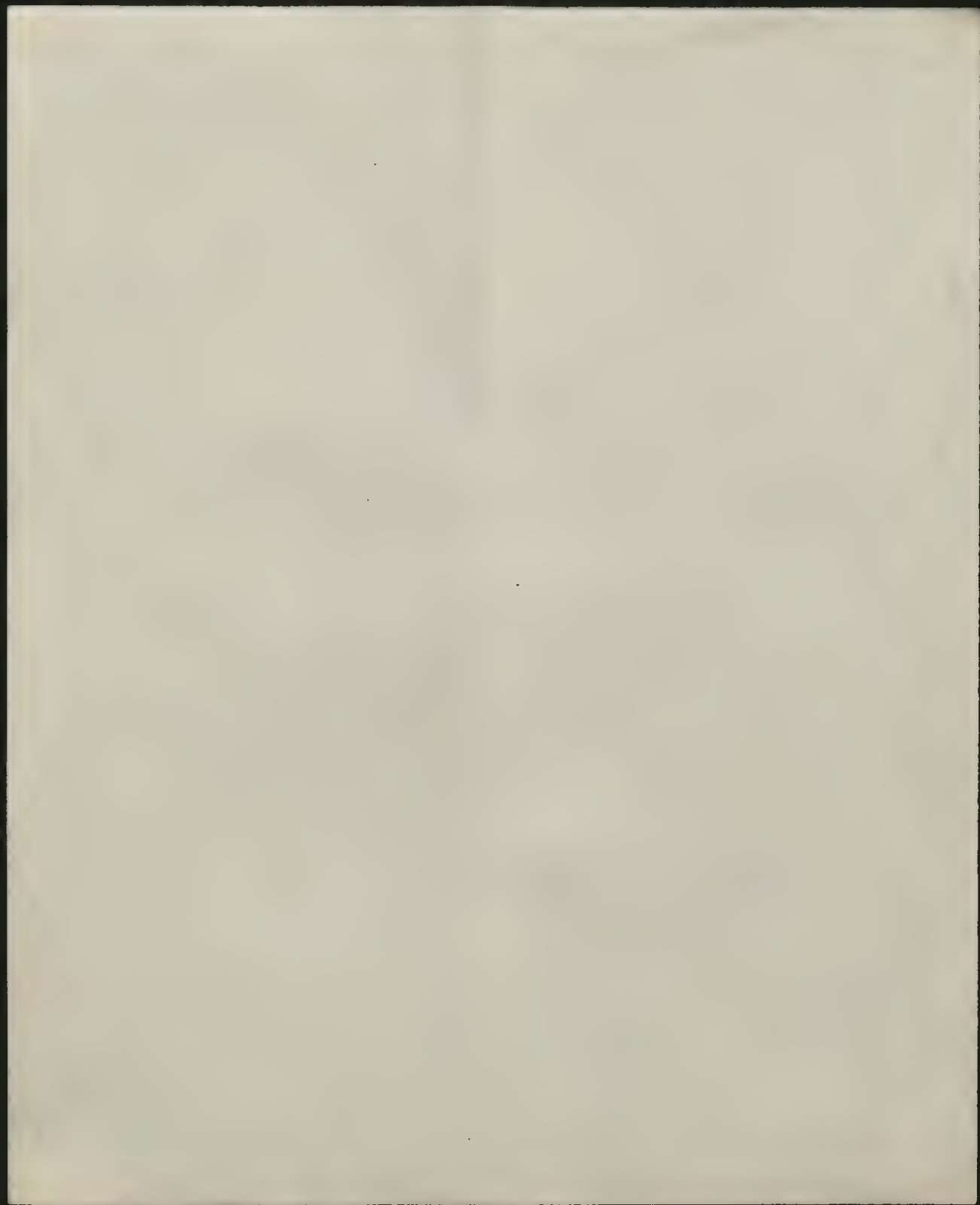
zweiten Falle  $A = \frac{15}{42} (1 + \frac{2\beta}{1-\beta})$

$\beta$  bedeutet einen vordaher noch unbestimmt gebliebenen Factor, welcher bestimmt, welchen Drucktheil <sup>ihre</sup> Temperatur die an die Wand anprallende Moleküle an derselben abgeben.

Diese Gleichung  $\Delta\theta = -A k \frac{\partial\theta}{\partial x}$  hat ganz die Form der Poisson'schen Grenzbedingung  $\Delta\theta = -j \frac{\partial\theta}{\partial x}$  welche Poisson in seiner Wärmeleitungstheorie hypothetisch, von gewissen Überlegungen ausgehend, auf die ich jetzt nicht eingehen kann, aufgestellt hat. Das kommt in unserem Falle, wo der Wärmeübergang zwischen parallelen Platten erfolgt, darauf hinaus, dass die Wärmeleitung so erfolgt, als ob die Moleküle um die Distanz  $j$  zurückgeschoben wären.



$j$  ist dabei also proportional der mittleren Weglänge mit von derselben Seitenbedingung, also umgekehrt proportional dem Gasdrucke, woraus sofort folgt, dass diese Correction erst

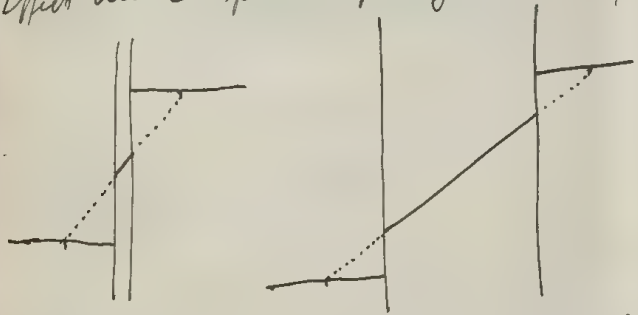




bei großen Verdünnung merkbar werden.

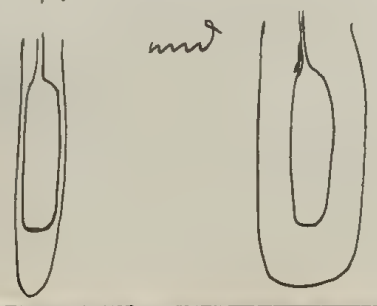
Trotzdem der ~~genaue~~ Werth der Constanten  $A$  resp.  $\gamma$  theoretisch  
noch nicht genau abgeleitet werden kann, insbesondere da uns die  
Dampfdruck der ~~Flüssigkeit~~ Oberfläche der festen Körper zu wenig genau bekannt  
ist, <sup>kann man aus</sup> ~~sind in~~ dieser Gleichg zwei ~~Wichtige~~ Folgerungen ziehen, die  
experimentell genau geprüft werden können.

1. Je kleiner der Gesamtdruck  $p$  ist, desto größer muss der  
Effekt des Temperatursprunges sein, also wird er sich auch in kleinen



Erfahrungen schon bei viel höheren  
Drücken bemerkbar machen, als  
in großen Erfahrungen. ~~Wäre~~ [Das je  
welches man aus beiden Fällen für

gleiche Gesamtdrucke berechnet, muss der gleich groß sein]. Würde dagegen  
die Abnahme der Wärmeleitfähigkeit von einer Verminderung des  $K$   
<sup>wie man früher meinten geglaubt hatten</sup>  
herühren, so müsste sie ganz parallel gehen in ~~den~~ großen und  
kleinen Erfolge. Ich habe nun zwei Versuchssätze angestellt  
mit Apparaten von der Form



wobei im ersten Fall der Gesamtdruck nur 5 mal  
so groß war wie im ersten





Sehr fand ich nun Abstrahlzeit v. bei Luft in kleinen Gefäß <sup>12</sup> 11  
 bei höherem Druck als normale Abstrahlzeit 184 sec.

von ca 10 mm eine merkliche Abnahme, d. 2024 sec. bei 0.90 mm  
 $184 = 10\%$

Dagegen im großen Gefäß normal 3802 sec.

bei 0.80 mm  $3884$   
 $8.2 = 5\%$

Wenn man die Strahlung diminiert, so wird das Verhältnis noch  
 auffallender, es beträgt dann die Verminderung im ersten Falle  
 12% im zweiten 4%, also die Wozig im kleinen Gefäß dreimal  
 so groß. Somit Dagegen wenn die berechnete  $\mu$  in beiden Fällen gleich groß wie  
 sich jetzt noch zeigen wird.

2). Das  $\mu$  welches man aus den Versuchen berechnet muss von  
 ähnlicher Größe sein wie  $\lambda$ , also das Product  $\mu \cdot \lambda$  muss  
 constant bleiben. Abstrahlzeit fand ich v. im engen Gefäße

von	184 <sup>x</sup>	1878	2024	3200	6441	788
$\mu = 710$ bis 41		4.74	0.90	0.095	0.0086	mm 0

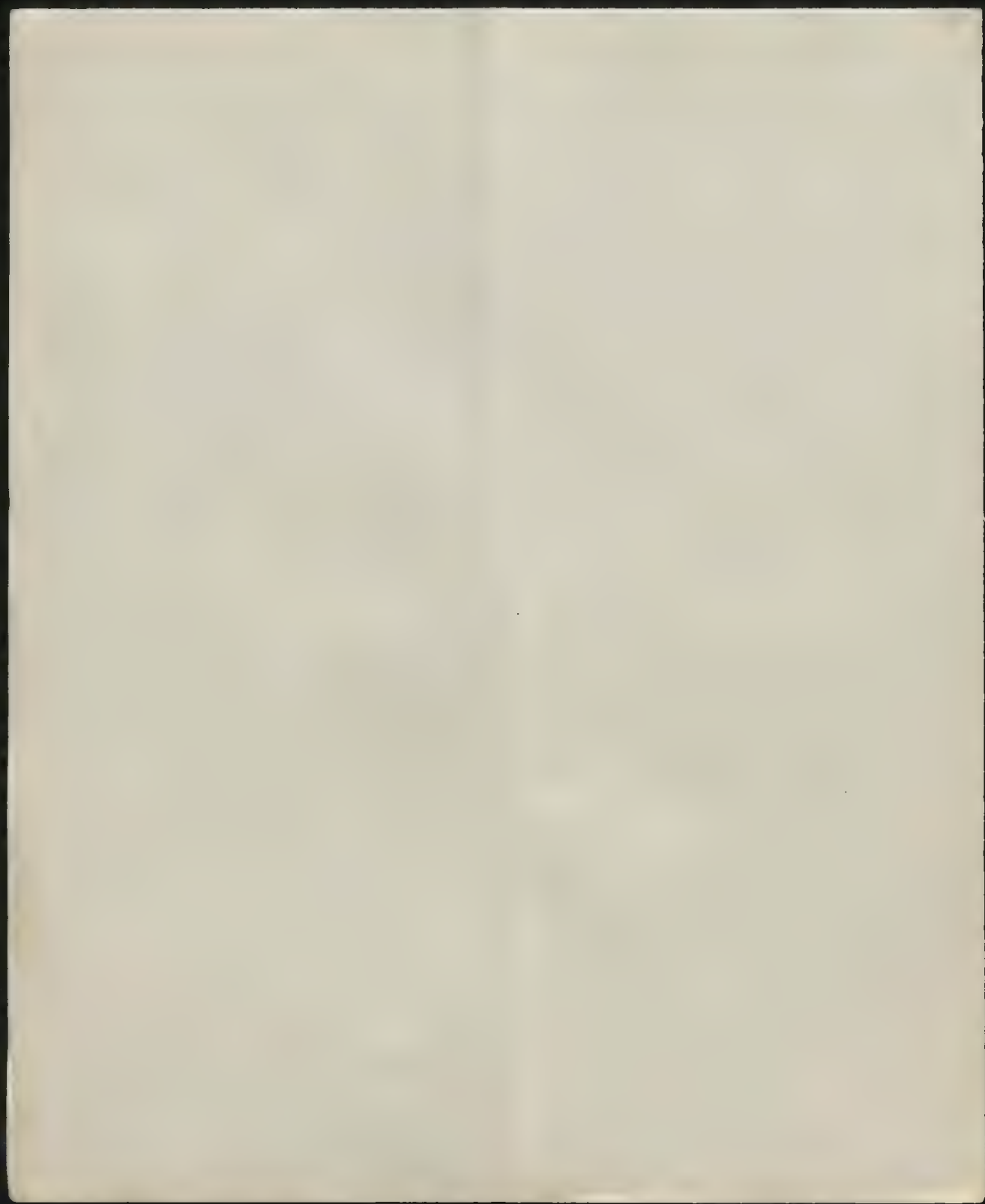
~~$\mu$~~   
 $\frac{\mu}{\lambda} =$ 

1.69	1.58	1.61	1.64	1.64	1.58	1.61	1.57	1.59	1.67	1.72
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Mittel 1.62 im weiteren Gefäße 1.78

also in Mittel  $\mu = 1.70 \lambda = 0.0000171 \cdot \frac{710}{\lambda}$  cm  
 also ausgezeichnete Übereinstimmung.

Ähnliche Übereinstimmung für Wasserstoff, bei welchem  $\mu$  merklich  
 groß  $\mu = 0.96 \lambda$





Die Formel, welche in dem Fall zur Berechnung <sup>benutzt</sup> <sup>13</sup> <sup>12</sup> ~~abgeleitet~~ wurde, lässt sich leicht in der gewöhnlichen Weise ableiten, wenn man die beiden Grenzforderungen  $\Delta p = p \frac{\partial \rho}{\partial x}$  berücksichtigt; man erhält dann Wärmeläng

$$L = \frac{2\alpha l \kappa}{\log \frac{R}{r} + p\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)} \quad \text{oder umgekehrt } p = \frac{2\alpha \frac{R}{r}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r}} \left(\frac{L}{L_0} - 1\right)$$

Zur selben Zeit, als ich die Untersuchungen in Wied. Ann veröffentlichte, erschien in Phil. Mag. eine Arbeit von Dusch — dem Entdecker des angeblichen neuen Gases Etherion, auf welches ich noch zu sprechen kommen werde. Dusch publicirte ein umfangreiches Beobachtungsmaterial über Abkühl von Thermometern im Vacuum von verschiedener Verdünnung von Atmosphärendruck anfangen bis zu ~~dem größten Vacuum~~ <sup>zum größten Vacuum</sup>, wobei jedoch nur in Betreff ~~Erklärungen oder mathematische Formeln~~ <sup>von ihm nicht verwendet</sup> von Curven. Ich habe dann gesagt, in Phil. Mag., dass die seine Versuche mit den meinigen in bester Übereinstimmung stehen, so dass sich auch ~~die Constante~~ <sup>ein ähnlicher Werth von p</sup> ~~an~~ <sup>errechnen lässt</sup>, und die Constante des Productes  $p \cdot p$  festgestellt wurde.

Ich fand nun bei einer genaueren Ansicht der Letztgenannten, dass man selbst schon aus den alten Versuchen von Wiedemann (1876) <sup>(1876)</sup> dies benutzliche Ergebnis ziehen könne.





Er findet für Wasserstoff bei einer Dicke der Schicht von  $0.3142$ <sup>10</sup>  
für die übertragene Wärmemenge

Druck:	$91.9^{\circ}\text{mm}$	4.7	3.0	1.92 mm
L	290	258	245	216

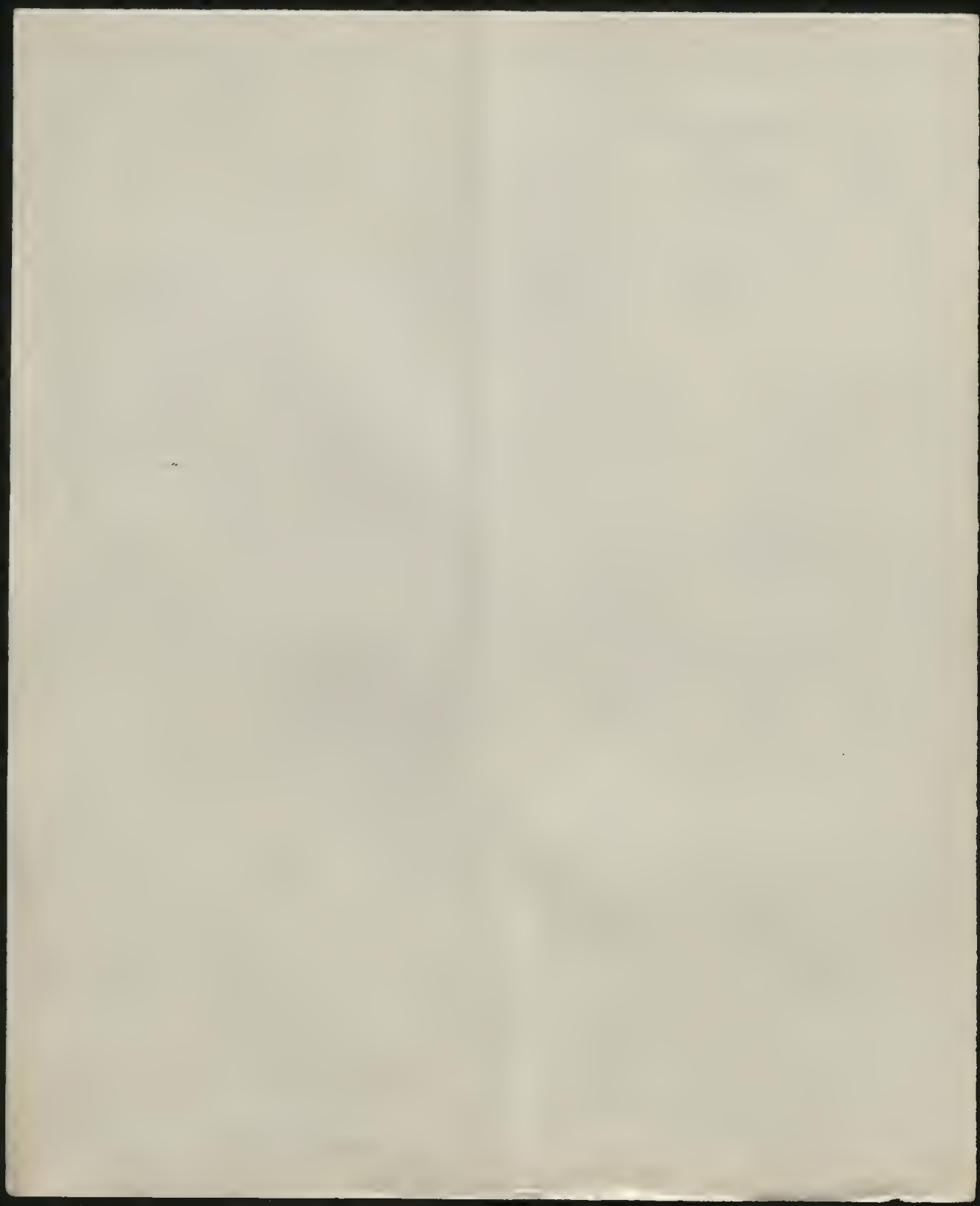
Daraus ~~folgt~~ <sup>berechnen sich</sup> für  $\rho$  und  $\rho T$  folgende Werte:

$\rho$	0.0195	0.0288	0.0538	
$\rho T$	0.0916	0.0864	0.1003	<del>0.0918</del>

woraus für  $\rho$  der Wert  $0.000122 \text{ cm} \cdot \frac{760}{T} = \text{ca} = 6.6 \lambda$  folgt

das in Anbetracht der Ungenauigkeit jener Versuche sehr befriedigend.

Nach <sup>bemerkenswerter</sup> ~~auffallender~~ ~~weise~~ steht mir aber der Umstand, dass (1888)  
durch diesen Temperatursprung die Experimente von Schliermacher  
über gelberische Erwärmung von Gärten, ~~welche~~ erklärt werden, welche  
früher insofern als ganz anomal betrachtet wurden, als bei diesen  
der Einfluss der Verdünnung des Gases schon bei relativ sehr hohen  
Drucken (20 mm bei Luft und 40 mm bei Wasserstoff) sich zeigte.  
Man sieht nämlich, dass in obiger Formel der Einfluss von  $\rho$  desto  
größer wird, je kleiner das  $\pi$ , er muss also besonders groß werden,  
wenn an Stelle des Thermometers in dünneren Gärten verwendet wird  
wie dies eben in Schliermacher's Versuchen der Fall ist.  
Auch <sup>die</sup> quantitative Übereinstimmung ist sehr befriedigend





Während beobachtet wurden

15 14

$\mu = \rho_1 \quad 22 \quad 5.2 \quad 12 \quad 0.3$

$L = 2438 \quad 2121 \quad 2071 \quad 1867 \quad 1344$

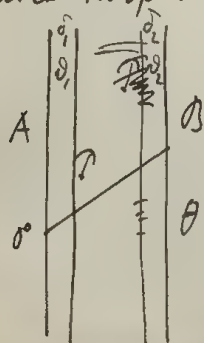
ergibt sich aus d. Formel unter Annahme  $\mu = 16 \lambda$ :

$L = \text{---} \quad 2121 \quad 2069 \quad 1867 \quad 1353$

Ähnlich für Wasserstoff.

Es würde nun interessant sein, wenn man dem Temperatursprung auch in anderer Weise, durch direkte Temperaturmessung, nachweisen könnte.

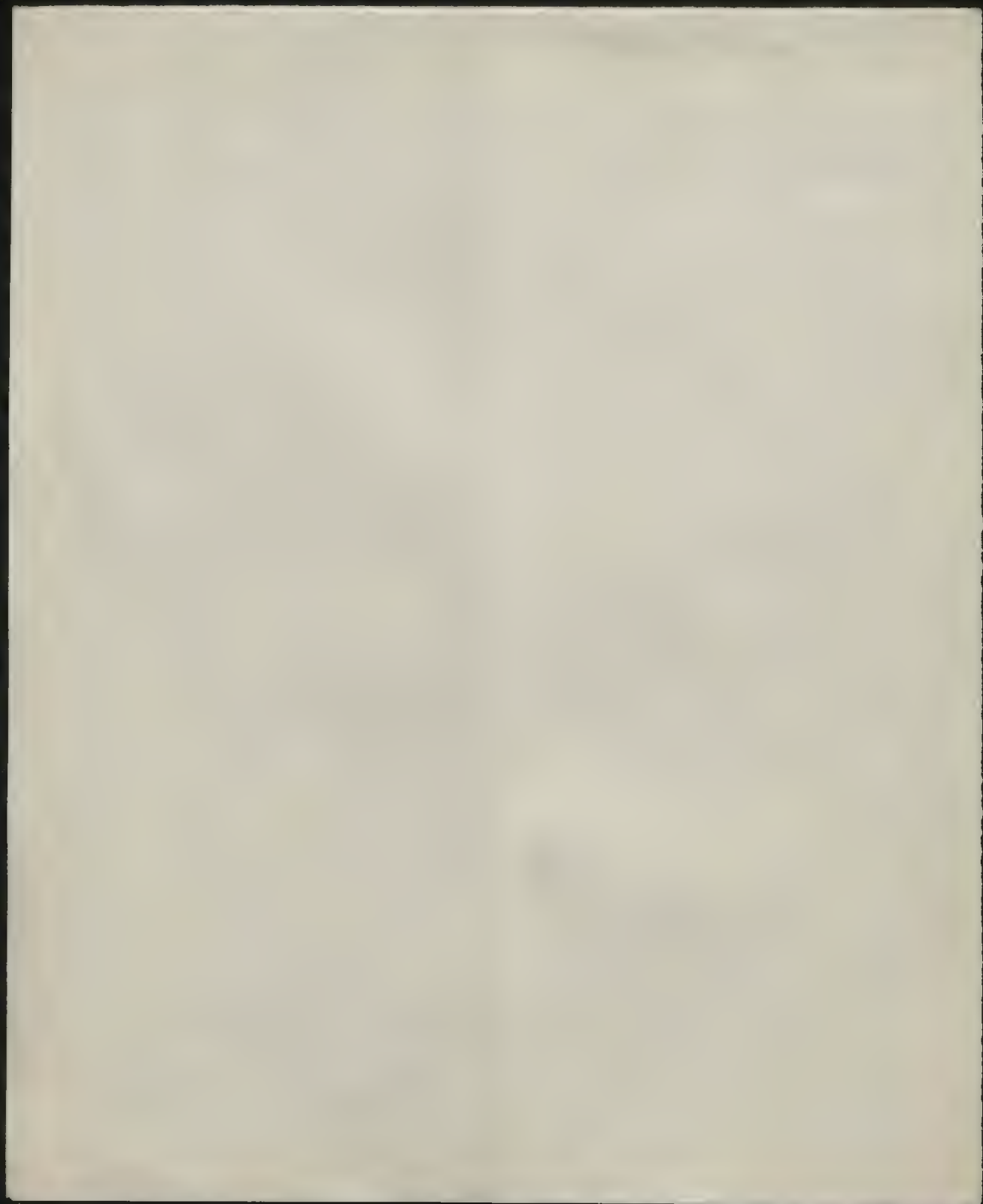
Ich glaube dass dies <sup>theoretisch</sup> wohl möglich sein dürfte, wenn man z.B. die Änderung des Refraktionsindex der Gas mit steigender Temperatur kennt aber die praktische Ausführung dieser Versuche dürfte ungemein schwierig sein. Näher liegend wäre die Methode, dass man einen Körper z.B. ein Thermometer zur Temperaturmessung in die Gasschicht zwischen zwei Platten von verschiedener Temperatur eintaucht, allerdings muss man dann aber berücksichtigen, dass auch an der Oberfläche dieses Körpers selbst ein Temperatursprung stattfindet



Wenn kein Temperatursprung existiert, also bei höherem Druck ist die Temperatur einer gegebenen Platte

$\rho_1: \rho_2 = \theta_1: \theta_2$   
 $\theta$  bestimmt als  $\frac{\rho_1 \theta_1 + \rho_2 \theta_2}{\rho_1 + \rho_2}$  da das <sup>mittlere</sup> ~~mittlere~~ <sup>Ergebnis</sup> ist.

Wenn dagegen bei gegebenem Verdichtungsgrad ein Temperatursprung





entsteht, so hat dies den Effekt, dass ob die Entfernungen  $\delta_1$  und  $\delta_2$  nun je 2  $\mu$  vermehrt wären also

$$\delta_1: \delta_2 = \frac{\delta_1 + 2\mu}{\delta_1 + \delta_2 + 4\mu} : \frac{\delta_2 + 2\mu}{\delta_1 + \delta_2 + 4\mu}$$

es wird also ihre Temperatur mehr dem ~~arithmetischen~~ Mitteltemperatur ~~gleich~~ der beiden

Platten genähert. ~~Der~~ Aus Beobachtung von  $\delta$  kann daher wieder das  $\mu$  berechnet werden, etwas complicierter wird die Gleichung <sup>in Vergleichheit</sup> infolge der Berücksichtigung der Strahlung.

Um diesen Fall zu realisieren, benutzte ich einen Apparat folgender Art:

In der Mitte ein Messing hohleylinder, der durch anverbautes Wasser auf  $0^\circ$  erhalten wurde; befindet sich ~~an~~ innerhalb eines ~~des~~ zweiten Messing hohleylinders, der durch Wasser auf Zimmertemperatur erhalten wird, in den Hohlraum der oben und unten durch U-förmige Abgeschlossen ist, wird das Gas eingefüllt. ~~Unter~~ Zwischen den beiden Cylindern wird nun ein cylindrischer Kupferblechring befestigt, an welchen zwei als Thermoelement dienende Drähte aus Fe und Niessilber befestigt sind, dass ein Paar solcher Drähte mit Zinnflüsse von A und Antimonflüsse von B befestigt, alle in Verbindung mit einem Galvanometer, dessen Ausschläge direct den Temperaturdifferenzen proportional sind. Es ergibt sich nun Thatssache, dass von ~~jedem~~ Drücken von einigen nun die Temp. des Reges sich der Verteilung



in nächster began und die  $\gamma$ , welche daraus berechnet wurde, <sup>17</sup> 16  
 waren von ganz ähnlicher Grösseordnung, wie die früher mittelst  
 anderer Methoden gefundenen. Auch die Constante des Productes  $\gamma\beta$   
 war <sup>constanter</sup> ~~so weit befriedigend~~ als die Genauigkeit der Versuche reichte.

10. ~~Vermischelt~~ Vergoldet Luft

$\beta = 22.5$	$\gamma\beta = 0.0116$
1.6	112
1.2	118
0.9	102
0.27	

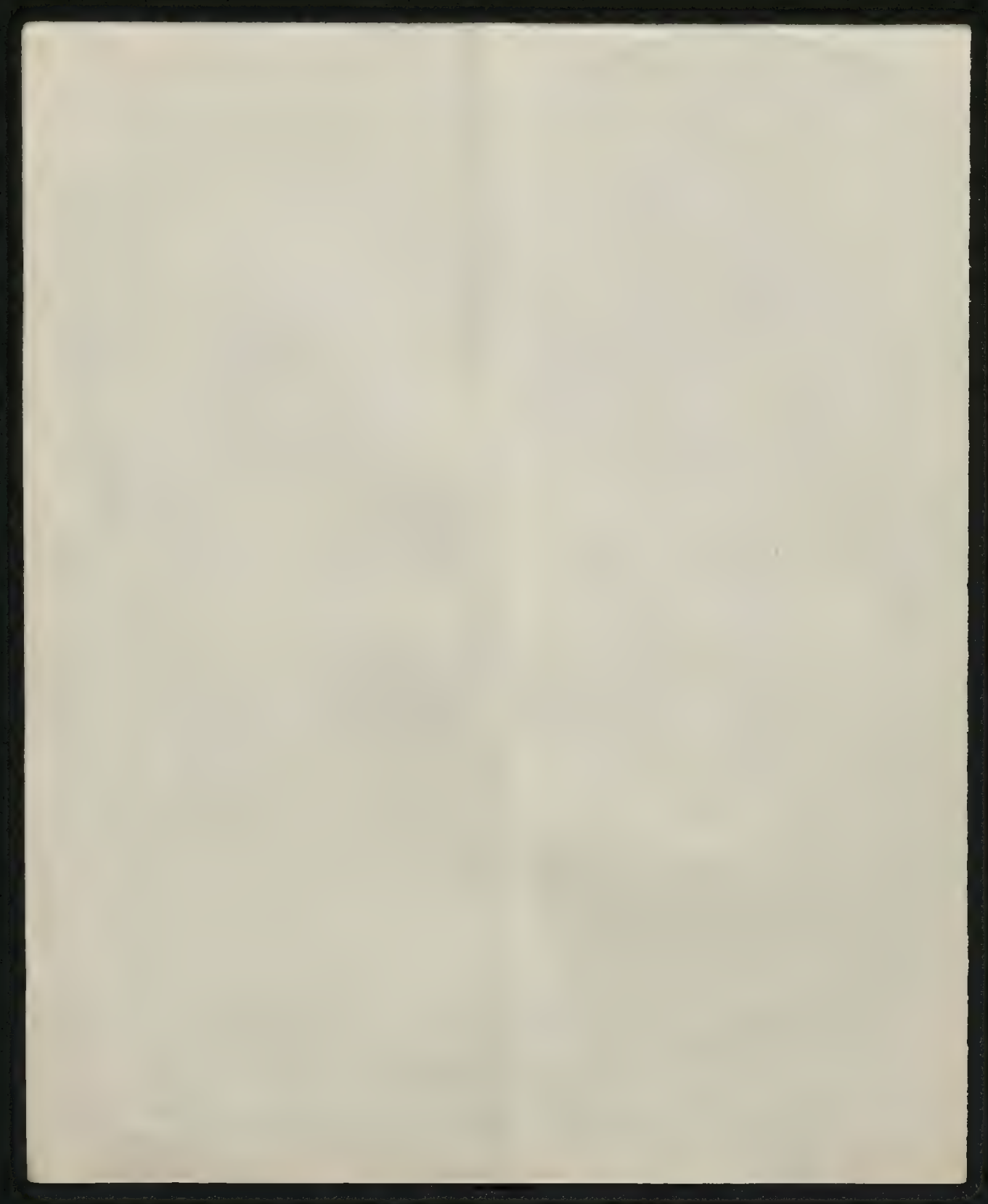
0.0112

Vermischelt $H_2$ :	0.000112
L	0.0000153
$CO_2$	0.0000123

Vergoldet $H_2$ :	0.0000788
L	0.0000147
$CO_2$	0.0000107

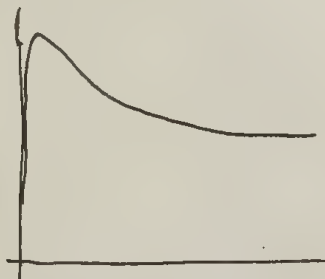
Es ist wohl einflussig, dass ich weitere Zahlen anfuhrte, nur eine  
 Modification dem Versuche möchte ich noch erwähnen, da sie einen  
 besonders frappanten Beweis für die Richtigkeit dieser Anschauung  
 bietet. Wenn man nämlich die Innenflächen mit Zuckerschmelze  
 und Wasserstoff verwendet, so habe ich den Fall, dass unter normalen  
 Verhältnissen die ~~Wärmeleitung~~ Wärmestrahlung weitaus über die Wärmestrahlung  
 überwiegt; es wird also, sobald der Temperaturgang merklich wird, die  
 Temp. der Platte sich dem Mittel nähern, also steigen. Bei successiver  
 Erwärmung nimmt dann die Wärmeleitung immer mehr ab, so  
 dass sie schließlich gegenüber der Strahlung der Innenflächen verschwindet,  
 diese berichtet aber, dass die Temp. der Platte sich wieder der unteren  
 Grenze nähert, daher muss falls unsere Anschauung richtig sind,





18 17

deren Temperatur einmal ein Maximum erreichen. Würde dagegen die Abnahme der Wärmeleitung nicht vom Temperatursprunge sondern von einer Abnahme des  $\kappa$  herrühren, so müsste die Temp. von  $P$  kontinuierlich abnehmen. Das Experiment zeigt nun dass tatsächlich eine <sup>Temperatur</sup> Curve der Art mit einem Maximum entsteht:

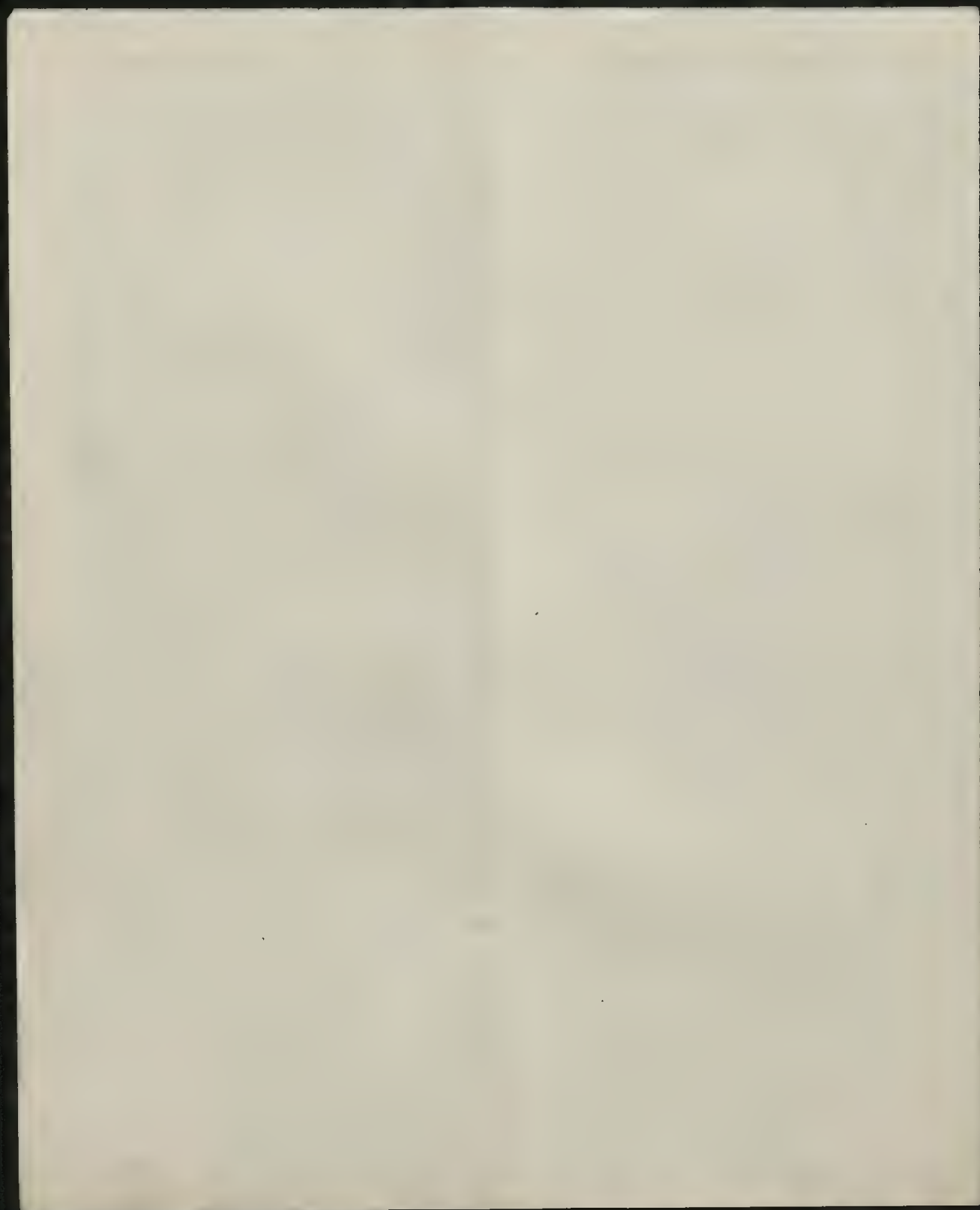


Es erscheint also die Annahme eines Temperatursprungs, welcher proportional ist dem Temperaturgefälle und der mittleren Weglänge in allen Punkten experimentell bestätigt, ~~was~~ und es bietet dies jedenfalls wieder einen neuen Beweisgrund für die Richtigkeit der kinetischen Gastheorie, da man sich nach anderen Theorien wohl kaum erklären kann, warum sich Gase an den Oberflächensofort anders verhalten sollten als im Inneren und warum ihre physikalischen Constanten von der Dicke der Gasschicht abhängig sein sollten.

---

Mit einigen Worten möchte ich <sup>nun</sup> noch auf die früher erwähnte angebliche Entdeckung Bruck's zurückkommen, da sie ja mit unserem Gegenstande in unmittelbare Beziehung steht.

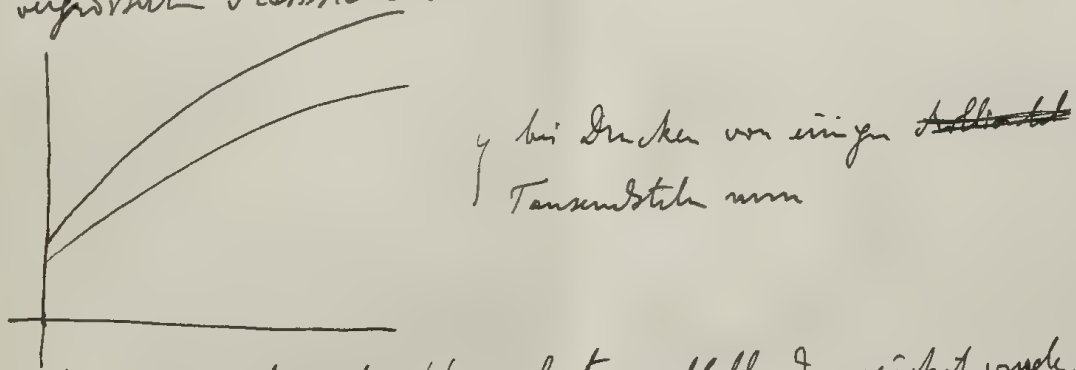
Alle unsere Gesetze bezüglich des Temperatursprungs sind auch nur innerhalb gewisser Grenzen gültig; sie werden ungenau, wie man aus





theoretischen Überlegungen leicht einzicht, sobald die Verdünnung so groß ist, dass die mittlere Weglänge der Gasmoleküle ~~von der Größe~~ <sup>gleich der Größe</sup> ~~der Gefäßdimensionen~~ <sup>der Gefäßdimensionen</sup> ist wie die Gefäßdimensionen. ~~Wenn man~~ Es treten dann sehr complicirte Verhältnisse ein und erst wieder bei den allgeringsten Verdünnungen wird die Sache einfach, dann muss die Wärmeleitung proportional dem Drucke annehmen.

Durch ist bei den früher erwähnten Versuchen bis zu den größten Verdünnungen vorgeschritten und die Curven, die er zeichnet, werden theilweise in der Nähe des Nullpunktes merklich linear, also in vergrößerter Darstellung:



Er fand nun, dass die Wärmeleitung auffallend vergrößert wurde, sobald die Glas wand oder noch besser Glaspulver zur Rothglut erhitzt wurde, d. h. sie wurde viel größer als man sie sonst bei gleichen gemessenen Drucke beobachtete, blieb aber immer viel kleiner als die Wärmeleitung unter normalen Verhältnissen. ~~Es scheint nun dass~~ <sup>die</sup> hielt ~~hier~~ <sup>er</sup> für einen Beweis, dass dabei ein neues Gas, Etheron, von enormer Wärmeleitungs fähigkeit entwickelt werde,



und stellte nun höchst abenteuerliche Spekulationen über seine  
 voraussichtliche Dichte, seine Molekulargeschwindigkeit etc. an,  
~~obwohl~~ ~~seinerseits~~ seine Dichte schätzte er voraussichtlich zu  $\frac{1}{100}$   
 von  $H_2$ , seine Molekulargeschwindigkeit zu 10000 fachen ~~von~~  $H_2$  etc.  
 ja er glaubte dass dies sogar der lange gesuchte Lichtäther sei, und  
 diese Entdeckung wurde sofort als bare Wahrheit in allen  
 Zeitschriften der Welt verbreitet.

Es scheint mir nun evident, dass die ganze Sache auf einem  
 Versehen von Bunsen beruht, indem er den Druckangaben seines  
 McLeod-Barometers zu viel Vertrauen schenkte. Es ist ja eine  
 bekannte Thatsache, dass Glas beim Erhitzen Wasserdampf abgibt,  
 Krumm & Warburg haben dieselbe Erscheinung wie Bunsen schon 1876  
 beobachtet und dieselbe auf Entstehen von Wasserdampf zurückgeführt,  
~~Warburg~~ Warburg & Johnson haben später diese Wasserhaut der  
 Glasgefäße noch eingehend untersucht, Crookes hat sogar spectrographisch  
 Nachweis dafür geliefert. Wenn nun Wasserdampf in dem Gefäße  
 vorhanden ist, so wird durch ein McLeod-Barometer offenbar  
 der Druck desselben nicht angezeigt, da sich ja der Wasserdampf  
 beim Comprimiren wieder condensirt, es wird <sup>also</sup> nur der Partialdruck  
 der Luft angezeigt. Während also Bunsen ed. glaubte ~~den~~ einen Druck  
 von 0.002 mm <sup>Luft</sup> zu haben, hatte er in Wirklichkeit vielleicht





0.002 mm Luft, außerdem aber noch vielleicht zehnmal soviel <sup>20</sup>  
Wasserdampf und da ist es ganz natürlich, dass er so große <sup>21</sup>  
Wärmelistung erhält. Getrocknet hat er sein Gas nicht, da er  
selber angibt, dass es von  $P_2O_5$  <sup>CaCl<sub>2</sub></sup> befeuchtet absorbiert wird, ferner dass  
es wieder <sup>mit destilliertem</sup> ~~verschwindet~~ sobald das Gefäß abgetücht — alles wird  
also vollkommen ~~durch die Gegenwart von Wasserdampf~~ <sup>erklärt</sup>,  
wenn man sein Etherion mit dem gewöhnlichen  $H_2O$  identifiziert.

Jedenfalls ist bis heute kein stichhaltiges Argument für das  
Eigenthum erbracht, und es scheint gerathen, dass man sich in dieser  
Sache einstweilen <sup>sehr</sup> skeptisch verhält, (Crookes <sup>selbst</sup> und Dorn in Berlin  
eine Meinung willheja auch) <sup>gegenüberstehen.</sup>

Auf die theoretischen Folgerungen Dorn's einzugehen, kann ich mir  
wohl ersparen. Sie sind auf Beobachtungen zwischen 0 und 1 mm  
Druck basiert, obwohl er selbst gefunden hat, dass sich hierbei Apparate  
verschiedener Dimensionen verschieden verhalten; hätte er andere

dimensionirte Apparate benutzt, hätte er auch ganz andere Sectionen erhalten.

Diese Untersuchungen bei den größten Verdünnungen also von ca.  $10^{-6}$  mm  
abwärts genauer auszuführen wäre sehr verstandesvoll, es wird dies aber  
viel Schwierigkeiten verursachen, namentlich infolge der unvollkommenen  
Wirkungswirkung unserer Quecksilberpumpen, welche kein größeres Vacuum  
erzeugen können, als das dem Quecksilberdampfdruck entsprechende.

1111111111





